

**ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA Y DESPACHO ECONÓMICO DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA EN MICRO REDES BASADOS EN ÁRBOLES DE  
DECISIÓN ESTOCÁSTICA**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:  
ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA Y DESPACHO ECONÓMICO DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA EN MICRO REDES BASADOS EN ÁRBOLES DE  
DECISIÓN ESTOCÁSTICA**

**AUTOR:  
GISSELA BELÉN ARGUELLO ESCOBAR**

**DIRECTOR:  
JORGE PAÚL MUÑOZ PILCO**

**Quito, Diciembre 2018**

Gissela Belén Arguello Escobar

**ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA Y DESPACHO ECONÓMICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MICRO REDES BASADOS EN ÁRBOLES DE DECISIÓN ESTOCÁSTICA**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2018

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



**Gissela Belén Arguello Escobar** (Y'1993). Realizó su estudio secundario en el Colegio Modelo Politécnico, se graduó de bachiller en la especialidad en Teleinformática. Egresada de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Áreas de interés: respuesta a la demanda, micro-redes, energía renovable. [garguello@est.ups.edu.ec](mailto:garguello@est.ups.edu.ec)

*Dirigido por:*



**Jorge Paúl Muñoz Pilco** (Y'1989). Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador, 2014, obteniendo el título de Ingeniero Eléctrico. Además, cursó estudios de posgrado como becario de Fundación Carolina en la Universidad Pública de Navarra, Pamplona – España, 2017, obteniendo el título de Máster en Energías Renovables: Generación Eléctrica. Actualmente es profesor ocasional a tiempo completo en la Universidad Politécnica Salesiana.

[jmunoz@ups.edu.ec](mailto:jmunoz@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

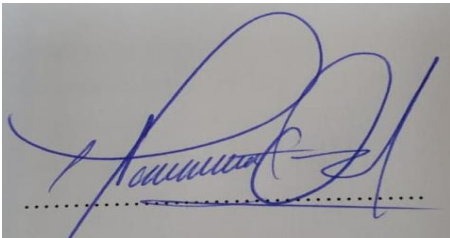
©2018 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo Jorge Paúl Muñoz Pilco, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA Y DESPACHO ECONÓMICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MICRO REDES BASADOS EN ÁRBOLES DE DECISIÓN ESTOCÁSTICA* realizado por Gissela Belén Arguello Escobar, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito D.M., Diciembre de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge Paúl Muñoz Pilco', is written over a horizontal dotted line.

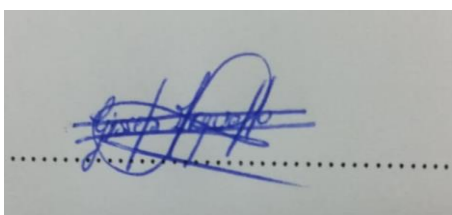
Jorge Paúl Muñoz Pilco

C.C.: 1719006189

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Arguello Escobar Gissela Belén, con documento de identificación N° 1803848082, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA Y DESPACHO ECONÓMICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MICRO REDES BASADOS EN ÁRBOLES DE DECISIÓN ESTOCÁSTICA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Eléctrica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, D.M., Diciembre de 2018



Gissela Belén Arguello Escobar

C.C.: 1803848082

## ***ÍNDICE GENERAL***

1.	Introducción .....	2
2.	Micro redes de energía renovable .....	4
2.1	Generación fotovoltaica .....	5
2.2	Generación eólica .....	5
2.3	Generación a diésel .....	6
2.4	Banco de baterías.....	6
3.	Despacho económico.....	7
4.	Árboles de escenarios.....	7
4.1	Árbol Cart.....	7
5.	Análisis de variables estocásticas.....	8
5.1	Análisis estocástico de velocidad del viento .....	9
5.2	Análisis estocástico de radiación solar.....	9
6.	Formulación del problema .....	9
6.1	Función objetivo.....	10
6.2	Restricciones .....	10
6.3	Pseudocódigo .....	11
7.	Análisis de resultados.....	12
7.1	Escenario 1, escenario 2 y escenario 3 .....	13
7.2	Árbol de decisión resultante .....	15
8.	Conclusiones .....	17
9.	Futuros Trabajos y Recomendaciones.....	17
10.	Referencias .....	17

## ***ÍNDICE DE FIGURAS***

Figura 1. Esquema general de la micro red.....	3
Figura 2. Eficiencia de acumuladores de energía.....	7
Figura 3. Esquema general de un árbol de escenarios. ....	8
Figura 4. Diagrama unifilar del sistema eléctrico aislado.....	9
Figura 5. Factor de uso por cada generador fotovoltaico.....	12
Figura 6. Factor de uso por cada generador eólico. ....	13
Figura 7. Potencia generada y demanda total del sistema, escenario 1.....	13
Figura 8. Potencia generada y demanda total del sistema, escenario 2.....	13
Figura 9. Potencia generada y demanda total del sistema, escenario 3.....	13
Figura 10. Energía diaria de todas las fuentes de generación para tres escenarios. ..	13
Figura 11. Porcentaje de participación por cada tipo de fuente de generación del despacho para tres escenarios.....	14
Figura 12. Costos por tipo de generación diario para tres escenarios. ....	14
Figura 13. Costos totales para tres escenarios.....	14
Figura 14. Árbol general día tres.....	15
Figura 15. Árbol general día cuatro. ....	16
Figura 16. Árbol general día cinco.....	16

## ***ÍNDICE DE TABLAS***

Tabla 1. Criterio del árbol cart. ....	8
Tabla 2. Algoritmo para el óptimo despacho económico. ....	11
Tabla 3. Algoritmo del árbol de decisión.....	12
Tabla 4. Reconocimiento de variables. ....	15

# ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA Y DESPACHO ECONÓMICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MICRO REDES BASADOS EN ÁRBOLES DE DECISIÓN ESTOCÁSTICA

## Resumen

El presente documento se enmarca dentro del ámbito de las micro redes aisladas, formada específicamente por fuentes de generación eólica, solar, hidráulica con sistemas de almacenamiento (baterías) y por un grupo electrógeno (diésel) como soporte. Para llevar a cabo este estudio, es necesario desarrollar una metodología basada en programación dinámica probabilística (PDP), la cual permite un estudio estocástico de los recursos renovables, la respuesta a la demanda (RD) y el impacto económico que presenta. El modelo de programación tiene como función objetivo minimizar los costos de energía sujeta a sus restricciones de disponibilidad del recurso eólico y fotovoltaico, que permitan cubrir una demanda diaria.

Sumado a lo anterior, se presenta el árbol de escenario encargado de optimizar costos, basados en los datos de entrada que corresponden a la aleatoriedad del recurso a utilizarse.

Finalmente, se muestran los resultados de simulación de la micro red bajo tres escenarios, logrando un despacho económico de las unidades de generación al menor costo de producción de energía.

**Palabras Clave:** Árbol de Decisión, Despacho Económico, Sistema Híbrido.

## Abstract

This paper is framed within the scope of the isolated micro networks, formed specifically by sources of wind, solar, hydraulic generation with storage systems (batteries) and by a genset (diesel) as support. To carry out this study, it is necessary to develop a methodology based on probabilistic dynamic programming (PDP), which allows a stochastic study of renewable resources, response to demand (RD) and the economic impact it presents.

The programming model is aimed at minimizing energy costs subject to its constraints on the availability of the wind resource, photovoltaic, that allow to cover a daily demand.

In addition to the above, the scenario tree in charge of optimizing costs is presented, based on the input data corresponding to the randomness of the resource to be used.

Finally, the simulation results of the Micro network are shown under three scenarios, achieving an economic dispatch of the generation units at the lowest cost of energy production.

**Keywords:** Decision Trees, Energy Dispatch, Hybrid System.



## 1. Introducción

A lo largo de los años los sistemas eléctricos de potencia (SEP) han tenido un rol significativo, en el desarrollo social, económico y productivo de los países, dicho crecimiento se puede ver reflejado en aumento de la demanda[1]; por ello las empresas encargadas de abastecer la carga deben proporcionar la energía necesaria, cumpliendo los criterios de confiabilidad y seguridad establecidos en el marco regulatorio.

El incremento de la demanda [2] es un problema para el SEP, pues para suministrar la energía necesaria a la carga, implica aumentar la capacidad de generación, transformación, así como, la capacidad de transmisión.

Es por ello que la integración de la generación distribuida (GD) [3] ha ganado interés en los últimos años, ya que puede constituirse en una solución a mediano y largo plazo para dicho problema. Estas energías tienden a ser en su gran parte RNC, como la energía eólica, solar, mini y micro hidráulica, geotérmico, biomasa y cogeneración, todo con el fin de cuidar el medio ambiente y abastecer la carga de manera eficiente [4].

La mayor parte de los SEPs actuales no se diseñaron para la integración a gran escala de la GD, por lo que se han presentado varios desafíos técnicos [5] como el control de voltaje, calidad de la energía, calibración de los sistemas de protecciones, entre otras.

Con el fin de abastecer la carga de manera eficiente se explora varias formas para mitigar dicho problema, una de las opciones es lograr que de alguna manera se reduzca la demanda eléctrica, para ello actualmente se analiza el concepto de respuesta a la

demanda (RD) cuyo objetivo es gestionar la carga en determinados periodos del día, donde la operación del SEP puede ser muy crítica.

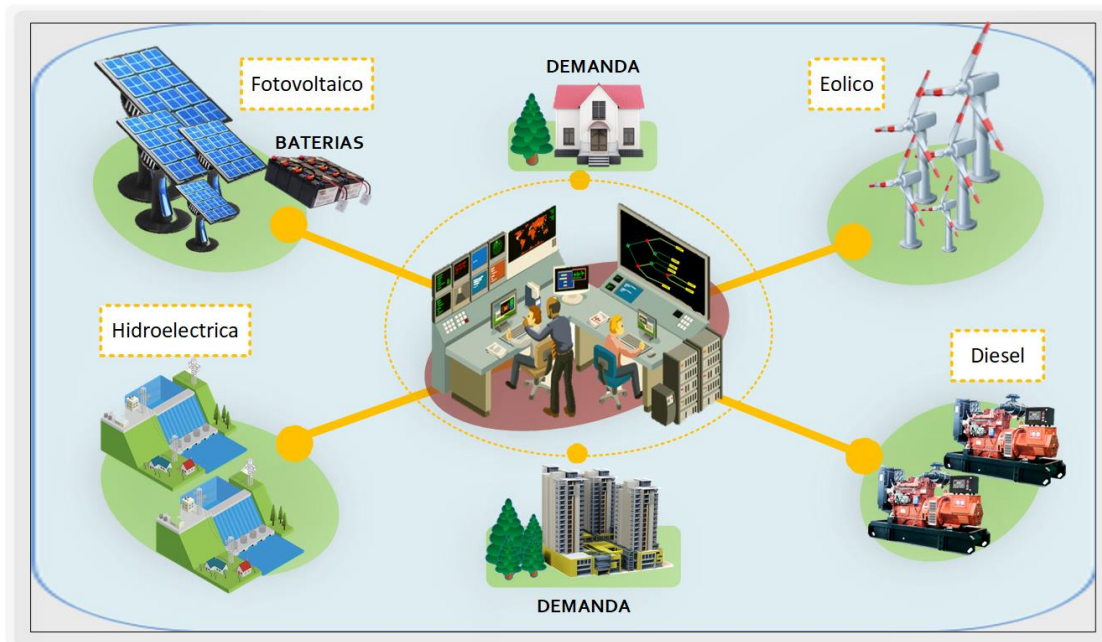
Además, es preciso el estudio y el desarrollo de métodos que representen el comportamiento impredecible de los recursos renovables y la demanda[6].

Mediante modelos probabilísticos, es posible asociar el problema de incertidumbre basadas en las estadísticas estimadas, [7] producidas a partir de registros históricos.

Con el análisis estocástico de las variables anteriormente mencionadas es posible realizar el despacho económico, cuyo objetivo es garantizar el abastecimiento de la demanda [8] del sistema al menor costo posible [9] cumpliendo con todas las restricciones y limitaciones de las fuentes de generación del sistema eléctrico con estándares de seguridad y confiabilidad.

Un parámetro importante para asegurar la confiabilidad de la micro red es desarrollar una estrategia que atenúen la variabilidad de la producción eléctrica y una de las soluciones es la implementación de sistemas distribuidos [10][11] (eólico fotovoltaico), además de grupos electrógenos (diésel), y sistemas de almacenamiento de energía (baterías) tal como se ilustra en la figura (1)[12][13].

Dicho sistema se plasma en un árbol de escenarios, el cual se define como la representación de las posibles evoluciones de un sistema hacia un estado futuro mostrando la hipotética situación de cada parámetro.



**Figura 1.** Esquema general de la micro red.

Algunos autores han desarrollado propuestas que contemplan diversos aspectos en la evaluación de confiabilidad y rendimiento de una micro red, basándose principalmente en generación de energía mediante variables estocásticas como se describen a continuación.

En [14] se propone un sistema de gestión de energía, para reducir el consumo de energía en el hogar empleando, una herramienta de respuesta a la demanda, en la cual incentivan económicamente a los usuarios por reducir su potencia de consumo además, considera factores de costos de energía, temas ambientales, perfiles de carga y la comodidad del consumidor, determinando que las técnicas de Inteligencia artificial (IA) son las mejores para reemplazar la participación del usuarios en la configuración del sistema.

En [15] se hace el uso de herramientas estocásticas para el modelado y la optimización de la GD, en la planificación, operación y

control eficientes, confiables y rentables de las micro redes renovables de bajo voltaje en los mercados de energía eléctrica; usa una función de densidad de probabilidad para modelar las incertidumbres de energía y determinar el precio de las reservas. Determinando que la aplicación de métodos estocásticos para la GD son más efectivos que los métodos determinísticos.

En [16] se presentan un modelo estocástico que consta de dos etapas. La primera es la RD, y la segunda el almacenamiento de energía (AE); tomando en cuenta restricciones para equilibrar el costo y la confiabilidad del sistema debido a la variación de las energías RNC y llega a determinar que los modelos estocásticos son más eficientes computacionalmente. Al tomar en cuenta la RD y la AE logra mantener la estabilidad del SEP ante la pérdida de carga aun usando energías RNC en la red.

En [17] se propone un modelo de despacho económico de micro redes industriales, usando energía eólica que

tiene como objeto minimizar los costos de energía usando árboles de decisión, llegando a determinar que la fluctuación de la energía eólica y la carga pueden mitigarse mediante la generación programada de energía tanto térmica como eólica, además que el uso de energía eólica ayuda a disminuir costos de energía.

En [18] se propone una teoría de optimización robusta, con la finalidad de construir un modelo estocástico para una planta de energía virtual en la cual se toma en cuenta la incertidumbre, la respuesta a la demanda basada en el precio de la energía e incentivos.

Dichos incentivos son de tipo tributario, pues la empresa distribuidora otorga una tasa de descuento a los usuarios que logren reducir su demanda en hora pico. Las energías RNC que emplea son energía eólica y solar fotovoltaica. Determina que aplicación de métodos estocásticos ayudan a la toma de decisiones, juntamente con la predicción diaria de la demanda ayudando a reducir los costos de penalización por falta de energía.

En [19] se analiza la implementación de generación RNC en lugares rurales, pero tomando en consideración la incertidumbre que tiene la misma, así como la autonomía y sostenibilidad económica del sistema. Llega a determinar que la generación RNC en zonas rurales podría ser viable y sostenible pero aún falta el aporte de muchos expertos para poder desarrollarlo de una manera completa.

En [20] se realiza un análisis del almacenamiento de energía. La misma que ayuda a igualar el suministro de energía y la demanda. Propone un número significativo de celdas en

paralelo, tomando en cuenta la tasa de aceleración y restricciones, así como, el mínimo tiempo de subida y bajada de las centrales térmicas, para determinar el tamaño óptimo de las celdas de almacenamiento de hidrogeno.

En adelante esta investigación realiza el análisis de la micro red estudiando las características y el modo de operación de los diferentes componentes que conformarán el sistema. Además, para el dimensionamiento óptimo, es crucial conocer los métodos existentes para el modelado y simulación del sistema, todos los parámetros, restricciones y variables que pueden intervenir en el proceso de optimización y los criterios de selección del sistema óptimo.

Para ello en la segunda parte del documento se pone de manifiesto toda la investigación de las fuentes bibliográficas que ha sido necesaria para poder dimensionar y caracterizar adecuadamente el sistema.

En la tercera parte del proyecto, una vez introducidos los conceptos necesarios, se desarrolla la formulación del problema y el algoritmo.

Finalmente, se presenta los resultados obtenidos y el análisis correspondiente, seguido de las recomendaciones y futuros trabajos sobre el tema.

## **2. Micro redes de energía renovable**

Una micro red se define como un sistema de energía local gestionado de manera independiente [21][1] que permite la distribución de electricidad desde los proveedores hasta los consumidores de forma segura y eficiente. Los elementos que forma una micro red son sistemas de

generación distribuida, sistemas de almacenamiento y cargas. Esta red debe estar conectada al sistema principal a través de un punto de acoplamiento común, tanto en el modo conectado a la red (On Grid) o de forma autónoma (Off Grid). Cuando una MR funciona en modo On Grid, tiene los beneficios de intercambio de energía con la red principal, siempre y cuando la potencia consumida sea menor a la potencia de las fuentes de generación que se estén entregando; en el caso que la MR funcione en modo Off Grid, usualmente la demanda es abastecida totalmente con la energía generada a través de fuentes renovables y convencionales, este tipo de sistemas almacenan el excedente de energía en baterías para nivelar los picos de producción y demanda.

Es preciso conocer las características y el modo de operación de los diferentes componentes que conforman el sistema.

## 2.1 Generación fotovoltaica

La generación fotovoltaica genera electricidad por medio de la radiación solar gracias a paneles solares compuestos de varias celdas conectadas en serie y/o paralelo [22][23].

A partir de los datos de radiación global, la temperatura ambiente y los datos del fabricante del módulo fotovoltaico, se puede determinar su potencia.[24][25].

Según señala [26], la potencia generada por una celda solar se puede expresar mediante los parámetros que se engloba en las ecuaciones (1) y (2).

$$T_{cell} = T_{amb} + \frac{(NOCT - 20)}{800} * G \quad (1)$$

$$P_{ph} = P_{stc} = \left\{ \frac{G}{1000} [1 + \alpha(T_{cell} - 25)] \right\} \quad (2)$$

Donde

- $G$ : Irradiación solar [ $W/m^2$ ]
- $T_{amb}$ : Temperatura ambiente [ $^{\circ}C$ ]
- $NOCT$ : Condición de temperatura nominal [ $^{\circ}C$ ]
- $\alpha$ : Coeficiente de potencia-temperatura [ $\%/^{\circ}C$ ]
- $T_{cell}$ : Temperatura de la celda [ $^{\circ}C$ ]
- $P_{stc}$ : Potencia bajo condiciones estándar de prueba [W]
- $P_{ph}$ : Potencia de salida de la celda

La función de costos como lo señala [21] para una central de generación fotovoltaica está dada por la ecuación (3) y (4).

$$F(P_s) = aI^P P_s + G^E P_s \quad (3)$$

$$a = \frac{r}{[1 - (1 + r)^{-N}]} \quad (4)$$

Donde

- $P_s$ : Generación solar [MW].
- $a$ : Coeficiente de anualización (retorno de la inversión).
- $I^P$ : Costo de inversión [ $\$/MW$ ].
- $G^E$ : Costo de O&M
- $N$ : Vida útil
- $r$ : Tasa de interés (se asume 0.09 para casos bases).

## 2.2 Generación eólica

La capacidad de un sistema para transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica [10] [27] se denomina energía eólica. Para conseguir esta conversión de energía se lo realiza por medio de aerogeneradores. El funcionamiento de estos se da cuando el viento golpea sobre las aspas del aerogenerador y lo hace girar, este movimiento de

rotación se transmite al generador mediante un sistema multiplicador de velocidad. El generador produce corriente eléctrica [15] que se deriva hasta las líneas de transporte y posteriormente al sistema de acumulación de energía [19].

La potencia generada por turbinas eólicas como se señala en [26] se calcula tomando en cuenta los parámetros expresados en la ecuación (5).

$$P = 1/2 (\rho * A * u^3) \quad (5)$$

Donde

$\rho$ : Densidad del aire  
 $A$ : Área de barrido por el viento  
 $u$ : Velocidad del viento

La función de costos como lo señala [21] para una central de generación eólica está dada por la ecuación (6) y (7).

$$F(P_v) = aI^P P_v + G^E P_v \quad (6)$$

$$a = \frac{r}{[1 - (1 + r)^{-N}]} \quad (7)$$

Donde

$P_v$ : Generación eólica [MW]  
 $a$ : Coeficiente de anualización  
 $I^P$ : Costo de inversión [\$/ MW]  
 $G^E$ : Costos de O & M [\$/MW]  
 $r$ : Tasa de interés  
 $N$ : Vida útil

### 2.3 Generación a diésel

Los generadores a diésel, en sistemas a grandes escalas son utilizados como respaldo para cargas críticas y para alimentar lugares aislados debido al fácil ajuste para entrar en funcionamiento, son altamente confiables y se adaptan rápidamente a los cambios de demanda eléctrica. Sin embargo, este modelo de generación

no es eficiente porque tiene dependencia de combustibles fósiles [28] [29], además, su costo de operación es elevado, con fluctuaciones constantes de precio y es contaminante para el medio ambiente [30].

La función de costos como lo señala [21] para el diésel está dada por la ecuación (8).

$$C_i(P_{Gdi}) = \sum_{i=1}^{N_G} a_i + b_i P_{Gdi} + C_i P_{Gdi}^2 \quad (8)$$

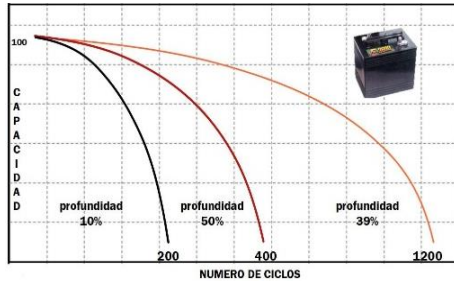
Donde

$b_i$ , Factor de costo de combustible por potencia generada  
 $c_i$ : Valor de costo asociado al arranque del generador  
 $N_G$ : Cantidad de generadores  
 $P_{Gd}$ : Potencia de salida del generador diésel

### 2.4 Banco de baterías

Las baterías son dispositivos de almacenamiento [22] que actúan como fuentes de voltaje DC controlable y como respaldo en caso de una pérdida repentina de la generación de energía[12] para cubrir la demanda.

Esta tecnología es costosa, requieren de mantenimiento y tienen vida útil limitada. Para prolongar su vida útil no se tiene que superar la temperatura de 25 °C. La eficiencia de las baterías puede variar según el material, la temperatura, calidad de construcción, el estado de carga y descarga.



**Figura 2.** Eficiencia de acumuladores de energía.

Department of electrical engineering, University of Zaragoza, Spain.

La función de costos como lo señala [21] para un banco de baterías de plomo-ácido está dada por la ecuación (9). Cabe recalcar que el costo depende de factores externos como la temperatura, corrientes, vida útil etc.

$$Cb = aI_{IB} + O\&M + C_R + \frac{C_c}{\eta_b} \quad (9)$$

Donde

$a$ : Factor de recuperación de inversión

$I_{IB}$ : Inversión inicial para las baterías

$O\&M$ : Operación y mantenimiento

$C_R$ : Costo de remplazar las baterías

$C_c$ : Costo de carga de las baterías

$\eta_b$ : Eficiencia de las baterías

### 3. Despacho económico

En el despacho económico [5] se establece de una forma óptima los recursos de generación eléctrica para satisfacer la demanda de un SEP al menor costo posible, tomando en cuenta insumo como la disponibilidad de generación, parámetros de la demanda y restricciones. Este es un proceso indispensable para cualquier mercado eléctrico porque permite realizar una adecuada utilización de sus recursos energéticos [31]. Durante la operación de un SEP el objetivo es mantener todas las variables eléctricas (voltajes, flujos de potencia en

elementos de transmisión, potencia reactiva de generadores) dentro de su rango normal de operación. [32] Ante cambios de frecuencia debido a la demanda eléctrica, se requiere que todas las máquinas tengan una reserva rodante y puedan influir en la regulación primaria potencia-frecuencia. Por esta razón es necesario determinar un despacho económico que considere todas estas restricciones e incertidumbres.

### 4. Árboles de escenarios

Para experimentaciones de simulaciones estocásticas se profundiza en la comprensión de árboles de decisión definidos como métodos analíticos [32] que por medio de una presentación esquemática dan alternativas y facilitan la toma de decisiones [23], especialmente cuando están involucrados riesgos, costos, beneficios u otras variables [33].

La técnica del árbol de escenarios se usa para problemas de clasificación, predicción, agrupamiento y selección de características [33].

Los árboles de decisión permiten establecer un modelo a partir de un conjunto de datos de entrenamiento [34], de modo que la decisión final se puede determinar mediante condiciones organizadas desde el nodo raíz a los nodos hojas.

Según [35] los algoritmos más representativos en árboles de decisión son ID3 (Interactive Dichotomiser 3), C4.5 y Cart (Classification and regression tree).

#### 4.1 Árbol Cart

En este documento se emplea el método Cart para la construcción del árbol de decisión estocástico para la optimización, clasificación y

predicción de los costos de generación eléctrica.

El árbol de clasificación y regresión Cart es un algoritmo del árbol de decisión que es robusto para manejar variables numéricas y categóricas [36]. Los criterios del algoritmo se muestran en la tabla (1) basadas en estrategias de partición binaria recursiva (divide y vencerás) de forma descendente para el crecimiento del árbol, utilizando variantes de medidas de impurezas como el índice (Gini) y medidas basadas en la distancia (estimación de error) para la selectividad de un atributo de entrada para asociarse con un nodo interno.

**Tabla 1.** Criterio del árbol cart.

Algoritmo	Estrategia	Partición	Poda
Cart	Divide y vencerás	Gini	Estimación De la complejidad de error

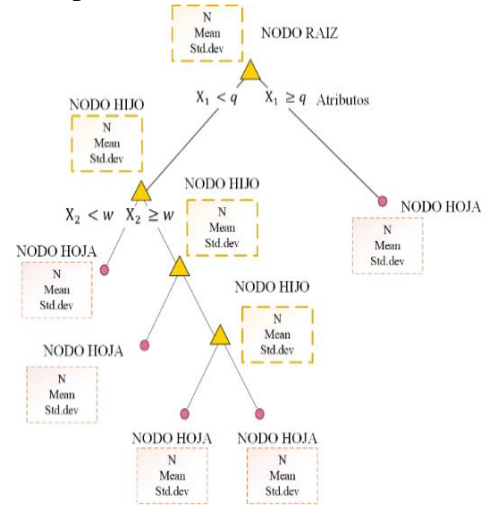
El árbol consiste en diagramas que parten desde un punto común (raíz), los nodos internos (atributos) que se les asocian con ramas para ir a otro nodo del árbol y por último las nodos terminales (nodo hojas) que es la salida que representan las posibles decisiones.

El proceso se realiza de manera recursiva para cada subárbol, donde se hacen preguntas sucesivas con respuestas sí / no para dividir el espacio de muestra [37]

La figura (3) muestra un esquema del árbol de Cart y se describe de forma general, los paso del algoritmo.

- Comienza con todos los datos de entrada formando un conjunto de variables únicas para cada atributo y examina todas las posibles divisiones binarias en cada predictor

- Selecciona una división con el mejor criterio de optimización. La idea básica del crecimiento de árboles es elegir una división entre todas las divisiones posibles en cada nodo para que los nodos secundarios resultantes sean los "puros".
- Repite recursivamente



**Figura 3.** Esquema general de un árbol de escenarios. [23]

## 5. Análisis de variables estocásticas.

Se considera métodos estadísticos para analizar el comportamiento de los procesos estocásticos de radiación solar y velocidad del viento, las cuales son parámetros de gran interés para obtener soluciones que se aproximen a valores reales.

MC es un proceso estocástico que emula el funcionamiento de un sistema considerando variables que están caracterizadas por funciones probabilísticas de estimación acumulada [39] que se obtienen de forma analítica, con el objetivo de llegar a una expresión donde la variable estocástica esté en función de la probabilidad.

Todo proceso estocástico tiene características diferentes las cuales se



diferencias entre si permitiendo elegir el método de probabilidad más conveniente.

### 5.1 Análisis estocástico de velocidad del viento

Una aproximación numérica flexible para realizar el modelado del viento según señala [40], se engloba en las ecuación (10).

$$V_w(t) = V_{wa} + V_{wr}(t) + V_{wg}(t) + V_{wt}(t) \quad (10)$$

Donde

$V_{wa}$ : Valor promedio.

$V_{wr}(t)$ : Una componente de una rampa, representando un incremento continuo en la velocidad del viento

$V_{wg}(t)$  Una componente representando una ráfaga

$V_{wt}(t)$ : Una componente representando turbulencia

### 5.2 Análisis estocástico de radiación solar.

Una aproximación para realizar la estimación de la radiación solar según señala [38] se engloba en las ecuación (11)(12).

$$G = G_0 K_{t-R}^{m_a} \quad (11)$$

$$K_{t-R} = 0.7002 + 1.6851 \times 10^{-3} + A^{0.5723} \quad (12)$$

Donde

$G$ : Irradiación

$G_0$ : Irradiación inicial

$m_a$ : Masa del aire

$K_{t-R}$ : Índice de claridad representativo

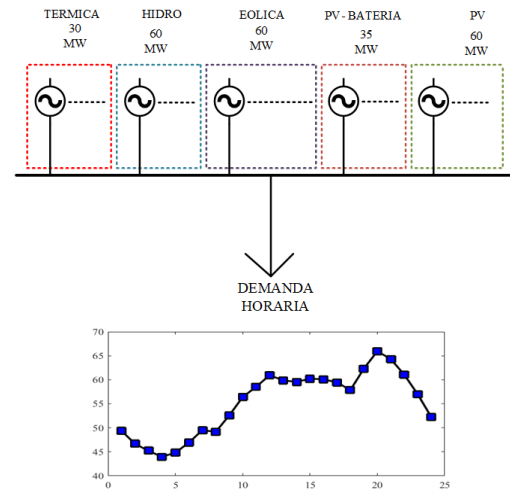
$A$ : Altura sobre el nivel del mar

## 6. Formulación del problema

Para el presente estudio, se formula el problema de optimización mediante

árboles de decisión de un micro red que opera en modo isla, de tipo estocástico con la finalidad de realizar un despacho económico entre las unidades de generación para satisfacer una demanda.

En la figura (4) se muestra el diagrama unifilar del sistema de distribución, conformada por 14 fuentes de generación 3 de ellas fotovoltaicas, 2 fotovoltaicas con baterías, 5 eólicas, 2 hidroeléctricas y 2 térmicas conectadas al bus DC para el abastecimiento de una demanda diaria.



**Figura 4.** Diagrama unifilar del sistema eléctrico aislado.

En este trabajo se valora el árbol Cart, el cual utiliza un modelo inductivo basado en el algoritmo de Breiman, con análisis de sensibilidad mediante el índice Gini.

Para construir dicho árbol se asigna variables que se usaran como atributos tales como la demanda diaria, y potencias de cada generador esto creara un árbol con varias bifurcaciones creando predicciones para la variable de salida de costos.

Un factor importante que se debe considerar en la modelación de la micro red es el comportamiento



aleatorio de los recursos renovables y la demanda la cual es posible dar solución mediante funciones probabilísticas.

De acuerdo a lo referido, a continuación, se plantea el modelo de optimización que lleva a cabo para un periodo de tiempo de 24 horas durante cinco días.

### 6.1 Función objetivo

La función objetivo (1) a emplearse sirve para minimizar costos de operación, para un sistema donde operan  $N_g$  generadores que viene dada por la ecuación (13) [20] [38].

$$\begin{aligned} \min = \sum_{t=1}^{24} (P_{FV,t,D} * fu_{FV,t} * Pe_{FV}) & \quad (13) \\ & + \sum_{t=1}^{24} (P_{FVB,t,D} \\ & * fu_{FVB,t} * Pe_{FVB}) \\ & + \sum_{t=1}^{24} (P_{EO,t,D} \\ & * fu_{EO,t} * Pe_{EO}) \\ & + \sum_{t=1}^{24} (P_{H,t,D} * Pe_H) \\ & + \sum_{t=1}^{24} (P_{T,t,D} * Pe_T) \end{aligned}$$

Donde

- $t$ : tiempo
- $D$ : Día
- $P_{FV,t,D}$ : Potencia del generador fotovoltaico en un periodo de tiempo  $t$  y en un día  $d$
- $P_{FVB,t,D}$ : Potencia fotovoltaico-batería en un periodo de tiempo  $t$  y en un día  $d$
- $P_{EO,t,D}$ : Potencia eólica en un periodo de tiempo  $t$  y en un día  $d$
- $P_{H,t,D}$ : Potencia hidro en un periodo de tiempo  $t$  y en un día  $d$
- $P_{T,t,D}$ : Potencia térmica en un periodo de tiempo  $t$  y en un día  $d$
- $fu_{FV,t}$ : Factor de uso fotovoltaico en el periodo de tiempo  $t$ .

$fu_{FVB,t}$ : Factor de uso fotovoltaico – batería en el periodo de tiempo  $t$ .

$fu_{EO,t}$ : Factor de uso eólico en el periodo de tiempo  $t$ .

$fu_{H,t}$ : Factor de uso hidro en el periodo de tiempo  $t$ .

$fu_{T,t}$ : Factor de uso térmico en el periodo de tiempo  $t$ .

$Pe_{FV}$ : Precio por unidad de generador fotovoltaico

$Pe_{FVB}$ : Precio por unidad de fotovoltaico-batería

$Pe_{EO}$ : Precio por unidad de eólico

$Pe_H$ : Precio por unidad de hidro

$Pe_T$ : Precio por unidad de térmico

En lo referente a precios energizados por unidad de generación renovable y convencional se consideran precios variables obtenidos a través de subastas tal como señala en [26]

Con respecto a la generación eólica y fotovoltaica se debe considerar la disponibilidad y volatilidad del viento e irradiación solar. Para ello se emplea el factor de uso ( $fu$ ) donde se obtiene curvas de probabilidad durante un periodo de 24 horas de las 3 fuentes fotovoltaicas, 2 fotovoltaicas con baterías y 5 eólicas. Este factor es necesario conocer, para una operación eficiente de un micro sistema de generación.

### 6.2 Restricciones

Toda función objetivo está sujeta a restricciones de igualdad y desigualdad como se muestra en la ecuación (14) (15) (16) (17) según [20].

#### 1) Balance de potencias

La ecuación (14) considera el balance de potencia entre carga y generación, tomando en cuenta que la demanda debe ser satisfecha en cada instante a partir de los aportes de potencia de

cada una de las unidades generadoras[38] [38].

$$\sum_{i=1}^{N_g} P_i = P_L \quad (13)$$

Donde

$n$  : Número de generadores  
 $P_i$  : Potencia del generador de la fuente i.  
 $P_L$  : Carga total del sistema

### 2) Límite de capacidad de generación

La ecuación (15) [38] indica el rango mínima y máximo de potencia de cada generador despachado convencional y no convencional.

$$P_{i \min} \leq P_i \leq P_{i \max} \quad (14)$$

Donde

$P_i$  : Potencia del generador de la fuente i.  
 $P_{imin}$  : Potencia mínima del generador i  
 $P_{imax}$  : Potencia máxima del generador i

### 3) Condiciones de rango de energía

La ecuación (16) y (17) [38] indica condiciones de rango de energía hidroeléctrica y térmica.

$$\sum_{t=1}^{24} \sum_{Hidro} PHidro_{t,D} < EHidro_D \quad (15)$$

$$\sum_{t=1}^{24} \sum_{Termica} PT_{t,D} < ET_D \quad (16)$$

Donde

$PHidro_{t,D}$  : Potencia Hidroeléctrica en un periodo de tiempo t y día d  
 $EHidro_D$  : Energía Hidroeléctrica en el día d  
 $PT_{t,D}$  : Potencia Térmica en un periodo de tiempo t y día d  
 $ET_D$  : Energía Térmica en el día d

## 6.3 Pseudocódigo

En la tabla 2 y 3 podemos observar el pseudocódigo donde se detalla el proceso de optimización.

**Tabla 2.** Algoritmo para el óptimo despacho económico.

### Algoritmo para el Óptimo Despacho Economico

**Paso 1:** Declaración de variables de entrada.

$g_1 \dots g_3 \rightarrow$  generadores PV  
 $g_4 \dots g_5 \rightarrow$  generadores PV-B  
 $g_6 \dots g_{10} \rightarrow$  generadores EO  
 $g_{11} \dots g_{12} \rightarrow$  generadores HIDRO  
 $g_{13} \dots g_{14} \rightarrow$  generadores TERMICO  
 $t_1 \dots t_{24} \rightarrow$  tiempo  
 $D_1 \dots D_5 \rightarrow$  día  
 $Energia_H \rightarrow$  energía del generador HIDRO  
 $Energia_T \rightarrow$  energía del generador TERMICO

**Paso 2:** Asignación de Pmax, Pmin, costos, para todas las fuentes de energía y fu para las fuentes de generación eólica y fotovoltaica

Potencia máxima  $\rightarrow g_1 \dots g_3$   
Potencia mínima  $\rightarrow g_1 \dots g_3$   
Potencia máxima  $\rightarrow g_4 \dots g_5$   
Potencia mínima  $\rightarrow g_4 \dots g_5$   
Potencia máxima  $\rightarrow g_6 \dots g_{10}$   
Potencia mínima  $\rightarrow g_6 \dots g_{10}$   
Potencia máxima  $\rightarrow g_{11} \dots g_{12}$   
Potencia mínima  $\rightarrow g_{11} \dots g_{12}$   
Potencia máxima  $\rightarrow g_{13} \dots g_{14}$   
Potencia mínima  $\rightarrow g_{13} \dots g_{14}$   
precios  $\rightarrow g_1 \dots g_{14}$   
factor de uso  $\rightarrow g_1 \dots g_{10}$

**Paso 3:** Costos de generación renovable y convencional

Para t=1 hasta t=24  
Para D=1 hasta D=5  
CFV =  $\sum P_{FV} * fu_{FV} * Pe_{FV}$   
CFVB =  $\sum P_{FVB} * fu_{FVB} * Pe_{FVB}$   
CEO =  $\sum P_{EO} * fu_{EO} * Pe_{EO}$   
CH =  $\sum P_H * Pe_H$   
CT =  $\sum P_T * Pe_T$   
fin para  
fin para

**Paso 4:** Optimización Función Objetivo

Para D = 1 hasta D = 5  
FO  $\rightarrow \min = \sum CFV + CFVB + CEO + CH + CT$   
end

**Paso 5:** Asignación de restricciones

Para t=1 a t=24  
Para d=1 a d=5

$$\sum_{FV=1}^{FV=3} P_{FV} * fu_{FV} + \sum_{FVB=4}^{FVB=5} P_{FVB} * fu_{FVB} + \sum_{EO=6}^{EO=10} P_{EO} * fu_{EO} + \sum_{H=11}^{H=12} P_H + \sum_{FV=13}^{FV=14} P_T = Demanda$$

fin para  
fin para  
Para d=1 a d=5  
 $\sum_{t=1}^{24} \sum_{Hidro} P_H \leq Energia_H$   
fin para  
Para d=1 a d=5  
 $\sum_{t=1}^{24} \sum_{Ter} P_T \leq Energia_T$   
fin para

**Tabla 3.** Algoritmo del árbol de decisión.

#### Algoritmo del Árbol de Decisión

**Paso 1:** Declaración e inicialización de variables

$t_1 \dots t_{24} \rightarrow$  tiempo

$D_1 \dots D_5 \rightarrow$  día

$i=1 \rightarrow$  nodo i

$S_i \rightarrow$  variable de división unitaria

$L \rightarrow$  valor mínimo de pérdidas

$C_i \rightarrow$  umbral

$d=0$

árbol=0

$G = [g_1 \ g_2 \ g_3 \ g_4 \ g_5 \dots \dots g_{14}] \rightarrow$  asignación de los descriptores

Para D=1 hasta D=5

$C_t = FO \rightarrow$  ecuación de la función objetiva

end

**Paso 2:** Crecimiento del árbol y partición

Mientras árbol <1

Si  $(\text{Nodo}(2^d - 1) + (\text{Nodo}(2^d - 1) + \dots) = 2 \cdot 2^{d+1}$

Árbol=1

Caso contrario

Si  $i=2^d - 1, 2^{d+1} - 2$

Si  $\text{Nodo}(i) > -1$  “Partición del nodo raíz”

Caso contrario

$\text{Nodo}(2i+1) = -1$

$\text{Nodo}(2i+2) = -1$

“Expansión del árbol”

fin si

fin si

fin si

$d=d+1$  “Cuanta el número de nodos que se han creado”

fin mientras

**Paso 3:** Grafico

Si i:  $\text{Nodo}(i)=0$  “algoritmo que se ejecuta en el nodo i”

$(S_i, C_i, G) = L(G, S_i, C_i)$  “Proporciona el valor mínimo de pérdida”

Nuevo= [ $\text{Nodo}(i)$   $\text{Nodo}(2i+1)$   $\text{Nodo}(2i+2)$ ...]

Hacer j=1

Si (observaciones  $\text{Nodo}(2i+j)) > d$

$\text{Nodo}(2i+j) = 1$

Caso contrario

$\text{Nodo}(2i+j) = -1$

Fin si

Fin si

**Paso 4:** Grafico

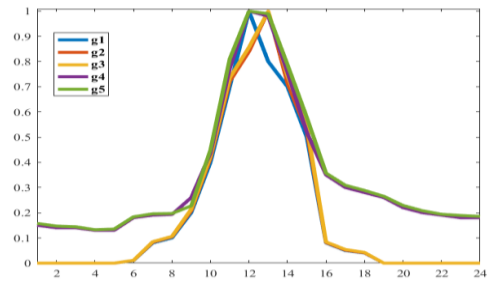
Árbol de decisión

## 7. Análisis de resultados

En esta sección se presentan e interpretan los resultados obtenidos, estos se han estructurado en base a tres escenarios.

Cabe mencionar que el despacho económico se realizó para un periodo de 5 días de los cuales se han seleccionado tres días diferentes.

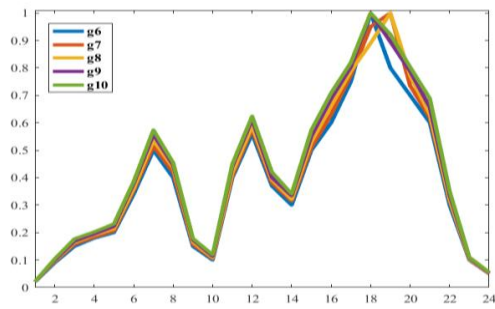
En base al estudio probabilístico de la irradiación, se pudo ver en la figura (5) cuanta irradiación se tiene a cada hora.



**Figura 5.** Factor de uso por cada generador fotovoltaico.

Para el generador 1, 2, 3 se refleja que en horas de la mañana no tiene mucho impacto en la producción de energía, pero en horas del mediodía toma un gran impacto para luego esta decaer en horas de la tarde.

Sin embargo para el generador 4 y 5 muestra que en horas de la mañana y tarde cuando no existe presencia de sol se tiene un respaldo de energía acumulado en baterías en caso de que sea necesario.



**Figura 6.** Factor de uso por cada generador eólico.

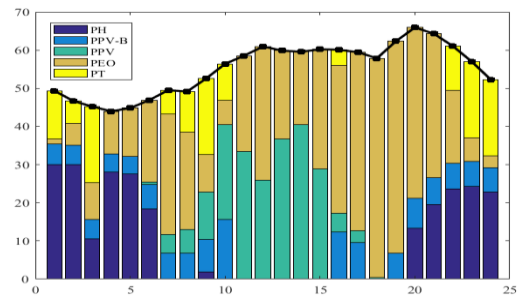
De manera similar a la gráfica anterior, en la figura (6) se observa el curso que toma la curva en horas de la mañana, medio día y tarde dándonos cuenta que existe alta disponibilidad del recurso eólico durante las 24h00.

### 7.1 Escenario 1, escenario 2 y escenario 3

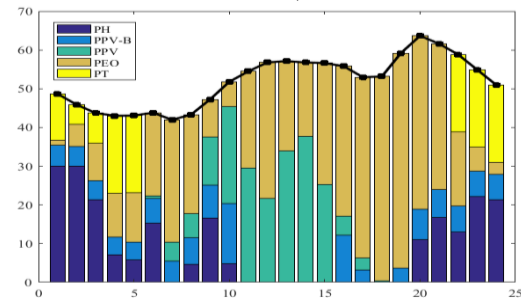
En las figuras (7), (8) y (9), se muestra los perfiles de potencia del despacho de cada una de las centrales de generación de los días tres, cuatro y cinco.

Durante los tres días se presenta una alta participación de la potencia eólica, lo que significa que existen niveles de velocidad del viento favorables.

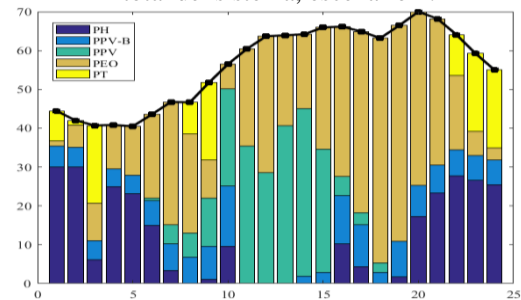
Por otro lado, también se nota como se realiza la variación de los generadores durante las 24 horas de cada día para cubrir con la demanda exigida por la carga. Este comportamiento representa un adecuado dimensionamiento de las fuentes y en la cual la generación diésel cumple su función de respaldo. Se tiene en cuenta que para el escenario uno se consideró una demanda promedio intermedia, para el escenario 2 una demanda promedio mínima y el escenario 3 una demanda promedio máxima tal como se muestra en las figuras mencionadas.



**Figura 7.** Potencia generada y demanda total del sistema, escenario 1.

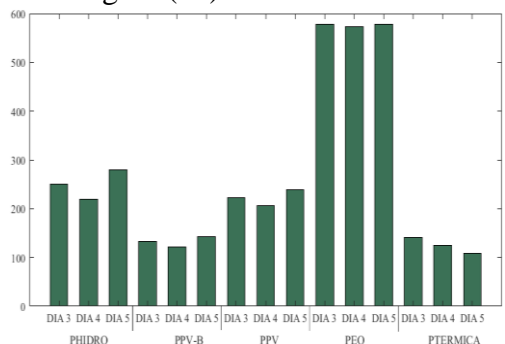


**Figura 8.** Potencia generada y demanda total del sistema, escenario 2.



**Figura 9.** Potencia generada y demanda total del sistema, escenario 3.

Las variaciones de energía diaria por cada tecnología se las representan en la figura (10).



**Figura 10.** Energía diaria de todas las fuentes de generación para tres escenarios.

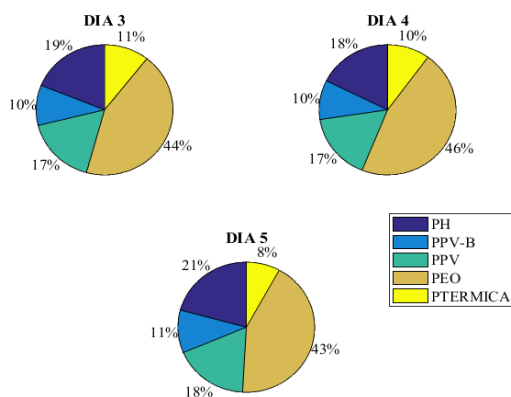
En el caso del recurso fotovoltaico se puede ver, que demanda más energía en el día cinco con respecto al día tres y cuatro. Así mismo se puede apreciar para el caso de la térmica

donde el día 3 se despachó 140.60 MWh en el día cuatro y cinco 124.95 MWh y 107.67 MWh respectivamente.

De la misma manera, la hidroeléctrica se despachó en el día tres con 250 MWh, el día cuatro con 220 MWh y en el día cinco con 280 MWh.

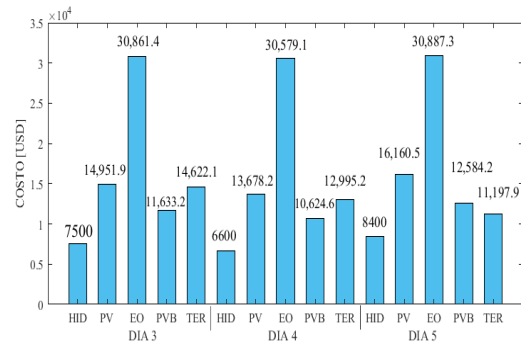
Por otra parte, la aportación de la energía eólica se ha visto incrementada entre un 44%, 46% y 43% en el día tres, cuatro y cinco respectivamente, esto se debe por alta participación del recurso del viento. También, se puede observar una reducida aportación de las fuentes de generación convencional que están entre los 11%, 10% y 8%.

En la figura (11) se muestra el porcentaje de aportación de cada uno de los tipos de generación de energía durante 3 días.



**Figura 11.** Porcentaje de participación por cada tipo de fuente de generación del despacho para tres escenarios.

En las figuras (12), se muestran la evolución del proceso de minimización de costos por tipo de generador para tres días diferentes.

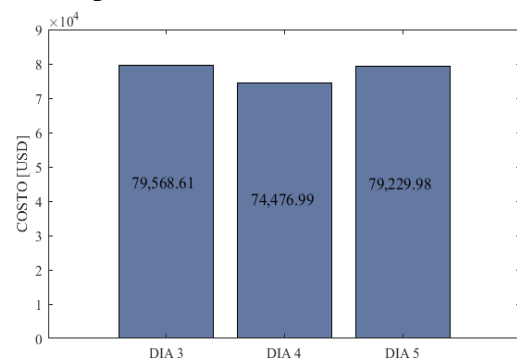


**Figura 12.** Costos por tipo de generación diario para tres escenarios.

Estos resultados permiten observar que se puede minimizar el costo de operación de la generación diesel con el generador eólico y el generador fotovoltaico, pero esto depende de la estocasticidad de los recursos energéticos.

También, se puede observar en la figura (12) que los costos de operación son menores cuando entran a operar los generadores hidroeléctricos, eólicos y fotovoltaicos, y cuando operan los térmicos y los fotovoltaicos con baterías su costo aumenta.

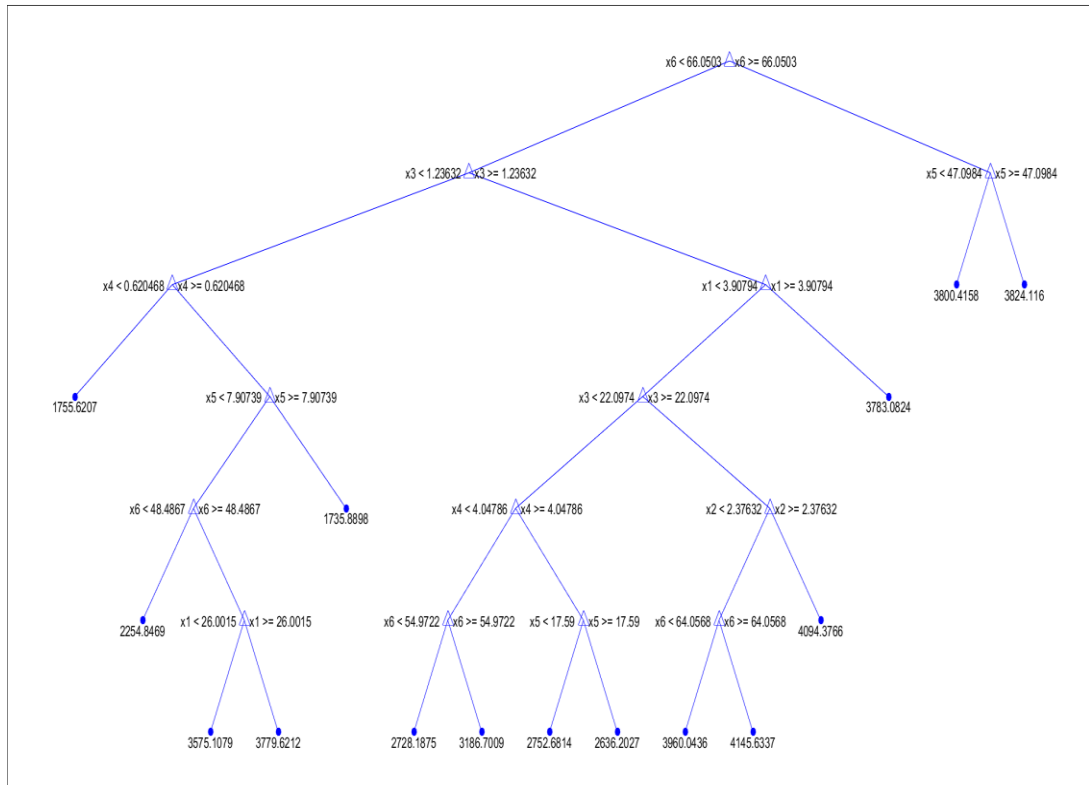
En la figura (13), se sintetiza los costos totales de operación que corresponde a cada día.



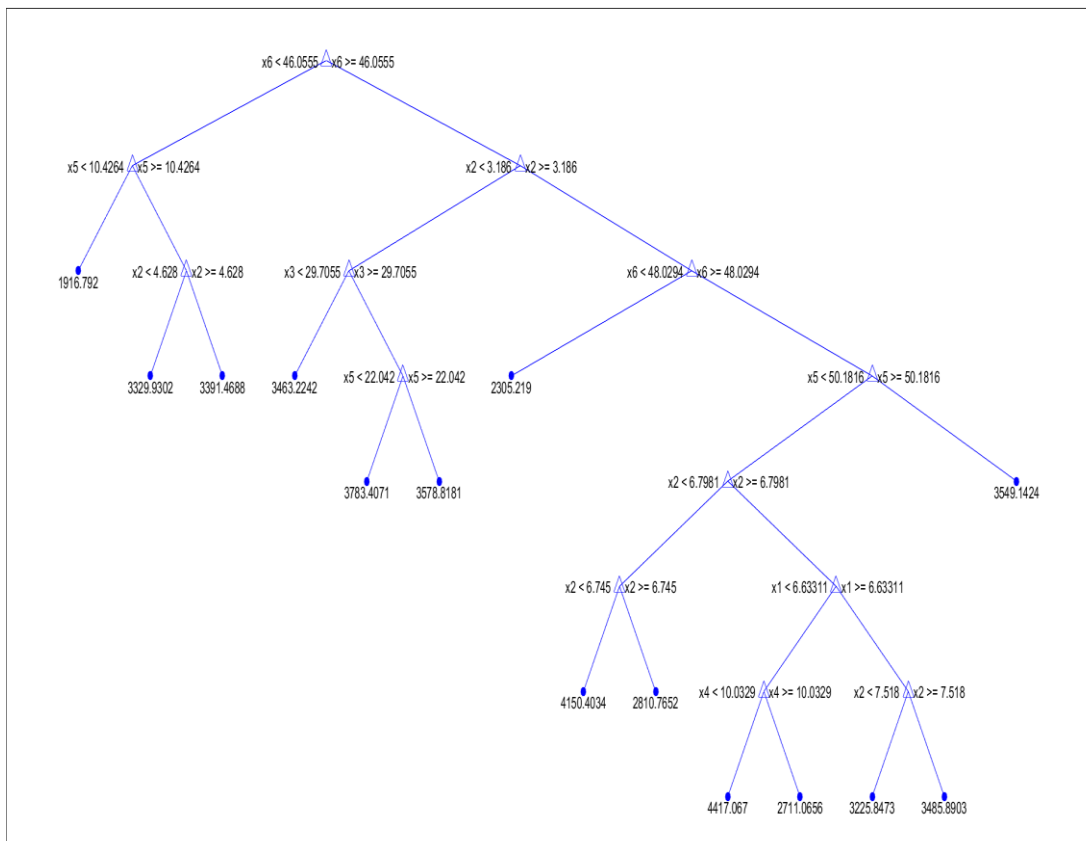
**Figura 13.** Costos totales para tres escenarios.

Realizando una comparación entre los tres escenarios se puede evidenciar que el día tres presenta un alto costo de 79568.61 USD, seguido del día 5 con un costo medio de 79229.98 y un costo bajo de 74476.99 en el día cuatro.





**Figura 15.** Árbol general día cuatro.



**Figura 16.** Árbol general día cinco.

## 8. Conclusiones

Se desarrolló un modelo de optimización para el despacho eficiente de micro redes con presencia de generación renovable y convencional, para un periodo de estudio de 24 horas durante cinco días, en la que se identificaron y analizaron los comportamientos en tres días diferentes.

Los resultados demuestran la eficacia de la aplicación de un modelo basado en arboles de escenarios en el pronóstico de costos de operación de generación.

En base al análisis de resultados se concluye que todos los escenarios cumple con las mejores condiciones técnicas y económicas para el abastecimiento de una máxima, intermedia y mínima demanda, con una potencia de instalación de 245 MW compuesta por 5 generadores fotovoltaicos 2 de ellos con baterías, 5 generadores eólicos, 2 hidráulicos y 2 térmicos.

Es evidente, la producción de energía eólica es mayor la cual está rondando entre 43% al 46%, mientras que la térmica ronda entre el 8% al 11% destacando alta disponibilidad de energías renovables.

Desde la perspectiva económica, este mostro evidencias interesantes entre los días tres y cinco. Para el día tres en el cual, se despachan una menor energía hidráulica del 19% y una mayor energía térmica del 11% en comparación al día cinco, que se obtiene un 21% y 8% respectivamente. Cabe mencionar que la disponibilidad de los recursos para cada día son diferentes por lo que sus costos varían dependiendo el tipo de fuente de generación que se utilice.

## 9. Futuros Trabajos y Recomendaciones

Son muchas las direcciones en las que se podrían continuar este trabajo, entre ellas se destacan las siguientes:

La integración de otras energías renovables como la mareomotriz, geotérmica, biomasa, entre otras permitiendo analizar el efecto económico que recaen en estas.

La incorporación de una micro red que opere conectada a la red principal de energía eléctrica de modo que permita una óptima administración de energía.

Un estudio sobre métodos de minimización de la pérdida de potencia y mejoras del perfil de tensión en las micro redes.

Se sugiere la aplicación de diferentes algoritmos tanto heurísticos como determinísticos para la solución del problema de optimización propuesto en el sistema de gestión óptima de energía.

Se recomienda un análisis de otros patrones estacionales eólicos/solares/hídrica debido a su nubosidad, precipitaciones, fuertes velocidades de viento, caudales afluentes, que pueden verse afectados a la generación de energía eléctrica.

## 10. Referencias

- [1] M. F. Zia, E. Elbouchikhi, and M. Benbouzid, "Microgrids energy management systems: A critical review on methods, solutions, and prospects," *Appl. Energy*, vol. 222, no. March, pp. 1033–1055, 2018.
- [2] A. Haghghat Mamaghani, S. A. Avella Escandon, B. Najafi, A. Shirazi, and F. Rinaldi, "Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel



- and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia,” *Renew. Energy*, vol. 97, pp. 293–305, 2016.
- [3] J. M. Lujano-Rojas, R. Dufo-López, and J. L. Bernal-Agustín, “Technical and economic effects of charge controller operation and coulombic efficiency on stand-alone hybrid power systems,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, pp. 709–716, 2014.
- [4] K. Nghitevelekwa and R. C. Bansal, “A review of generation dispatch with large-scale photovoltaic systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, pp. 615–624, 2018.
- [5] A. Chadel, M. Chadel, M. Aillerie, and B. Benyoucef, “Technical and economic analysis of hybrid solar/wind energy source for the site of Tlemcen-Algeria,” *Energy Procedia*, vol. 119, pp. 29–37, 2017.
- [6] H. Quan, D. Srinivasan, and A. Khosravi, “Incorporating Wind Power Forecast Uncertainties into Stochastic Unit Commitment Using Neural Network-Based Prediction Intervals,” *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 26, no. 9, pp. 2123–2135, 2015.
- [7] Y. He, B. Wang, J. Wang, W. Xiong, and T. Xia, “Residential demand response behavior analysis based on Monte Carlo simulation: The case of Yinchuan in China,” *Energy*, vol. 47, no. 1, pp. 230–236, 2012.
- [8] K. Ma, C. Wang, J. Yang, Q. Yang, and Y. Yuan, “Economic dispatch with demand response in smart grid: Bargaining model and solutions,” *Energies*, vol. 10, no. 8, 2017.
- [9] J. Chen, X. Yang, L. Zhu, and M. Zhang, “Microgrid economic operation and research on dispatch strategy,” in *Proceedings - Power Engineering and Automation Conference, PEAM 2012*, 2012.
- [10] M. Al Karim, J. Currie, and T. T. Lie, “A machine learning based optimized energy dispatching scheme for restoring a hybrid microgrid,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 155, pp. 206–215, 2018.
- [11] O. Zebraoui and M. Bouzi, “Sizing and optimization of a fully autonomous hybrid PV-wind power system,” in *Proceedings of 2016 International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb, CISTEM 2016*, 2017.
- [12] J. Yuan, J. Ma, L. Zhao, and H. Liu, “A real-time balancing market clearing model for grid-connected micro-grid including energy storage system,” in *Proceedings - 2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies, EDST 2015*, 2015.
- [13] G. Liu, Y. Xu, and K. Tomsovic, “Bidding strategy for microgrid in day-ahead market based on hybrid stochastic/robust optimization,” *IEEE Trans. Smart Grid*, 2016.
- [14] H. Shareef, M. S. Ahmed, A. Mohamed, and E. Al Hassan, “Review on Home Energy Management System

- Considering Demand Responses, Smart Technologies, and Intelligent Controllers,” *IEEE Access*, vol. 6, no. c, pp. 24498–24509, 2018.
- [15] P. Fazlalipour, M. Ehsan, and B. Mohammadi-Ivatloo, “Optimal participation of low voltage renewable micro-grids in energy and spinning reserve markets under price uncertainties,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 102, no. March, pp. 84–96, 2018.
- [16] Y. Huang, Q. P. Zheng, and J. Wang, “Two-stage stochastic unit commitment model including non-generation resources with conditional value-at-risk constraints,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 116, pp. 427–438, 2014.
- [17] H. Ding, F. Gao, K. Liu, and X. Guan, “An Economic Dispatch Model Based on Scenario Tree in Industrial Micro-grid with Wind Power,” pp. 5028–5033, 2015.
- [18] L. Ju, Z. Tan, J. Yuan, Q. Tan, H. Li, and F. Dong, “A bi-level stochastic scheduling optimization model for a virtual power plant connected to a wind-photovoltaic-energy storage system considering the uncertainty and demand response,” *Appl. Energy*, vol. 171, pp. 184–199, 2016.
- [19] R. McKenna, V. Bertsch, K. Mainzer, and W. Fichtner, “Combining local preferences with multi-criteria decision analysis and linear optimization to develop feasible energy concepts in small communities,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 268, no. 3, pp. 1092–1110, 2018.
- [20] S. Mohammadi and A. Mohammadi, “Stochastic scenario-based model and investigating size of battery energy storage and thermal energy storage for micro-grid,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 61, pp. 531–546, 2014.
- [21] N. Augustine, S. Suresh, P. Moghe, and K. Sheikh, “Economic dispatch for a microgrid considering renewable energy cost functions,” *2012 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol.*, pp. 1–7, 2016.
- [22] M. H. Amrollahi and S. M. T. Bathaee, “Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind generation together with energy storage system in a stand-alone micro-grid subjected to demand response,” *Appl. Energy*, vol. 202, pp. 66–77, 2017.
- [23] M. A. Al-Gunaid, M. V. Shcherbakov, D. A. Skorobogatchenko, A. G. Kravets, and V. A. Kamaev, “Forecasting Energy Consumption with the Data Reliability Estimation in the Management of Hybrid Energy System Using Fuzzy Decision Trees.”
- [24] V. Khare, S. Nema, and P. Baredar, “Solar-wind hybrid renewable energy system: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 23–33, 2016.
- [25] Y. Sawle, S. C. Gupta, and A. K. Bohre, “Review of hybrid renewable energy systems with

- comparative analysis of off-grid hybrid system,” 2017.
- [26] M. Mehrpooya, M. Mohammadi, and E. Ahmadi, “Techno-economic-environmental study of hybrid power supply system: A case study in Iran,” in *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2018, vol. 25, no. September 2016, pp. 1–10.
  - [27] I. Partridge, “Cost comparisons for wind and thermal power generation,” *Energy Policy*, 2018.
  - [28] C. Lao and S. Chungpaibulpatana, “Techno-economic analysis of hybrid system for rural electrification in Cambodia,” in *Energy Procedia*, 2017, vol. 138, pp. 524–529.
  - [29] R. Hosseinalizadeh, H. Shakouri G, M. S. Amalnick, and P. Taghipour, “Economic sizing of a hybrid (PV-WT-FC) renewable energy system (HRES) for stand-alone usages by an optimization-simulation model: Case study of Iran,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 54, pp. 139–150, 2016.
  - [30] L. Ferrari, A. Bianchini, G. Galli, G. Ferrara, and E. A. Carnevale, “Influence of actual component characteristics on the optimal energy mix of a photovoltaic-wind-diesel hybrid system for a remote off-grid application,” *J. Clean. Prod.*, vol. 178, pp. 206–219, 2018.
  - [31] L. Olatomiwa, S. Mekhilef, A. S. N. Huda, and O. S. Ohunakin, “Economic evaluation of hybrid energy systems for rural electrification in six geo-political zones of Nigeria,” *Renew. Energy*, vol. 83, pp. 435–446, 2015.
  - [32] C. A. Roa-Sepulveda, M. Herrera, B. Pavez-Lazo, U. G. Knight, and A. H. Coonick, “Economic dispatch using fuzzy decision trees,” *Electr. Power Syst. Res.*, 2003.
  - [33] H. Ding, F. Gao, K. Liu, X. Guan, and J. Wu, “An economic dispatch model in an industrial microgrid with wind power based on robust optimization,” *Dianli Xitong Zidonghua/Automation Electr. Power Syst.*, vol. 39, no. 17, pp. 160–167, 2015.
  - [34] T. Yun, H. Tengyu, L. Bing, T. Jing, and Z. Zhongjie, “Regional Voltage Stability Prediction Based on Decision Tree Algorithm,” in *2015 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data and Smart City*, 2015, pp. 588–591.
  - [35] J. C. R. Filho, C. M. Affonso, and R. C. L. De Oliveira, “Energy price classification in North Brazilian market using decision tree,” in *International Conference on the European Energy Market, EEM*, 2015, vol. 2015–August, pp. 1–5.
  - [36] N. Co-investigator, “Implementation of Classification and Regression Tree(CART) and Fuzzy Logic Algorithm for Intrusion Detection System,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, pp. 1689–1699, 2013.
  - [37] M. Li, “Application of CART decision tree combined with PCA algorithm in intrusion detection,” in *Proceedings of the IEEE International*

*Conference on Software Engineering and Service Sciences, ICSESS*, 2018, vol. 2017–Novem, pp. 38–41.

- [38] U. Como, P. Variable, L. A. Altura, S. El, and N. Del, “Modelo para estimar irradiancia e irradiación solar para dia claro utilizando como parámetro variable la altura sobre el nivel del mar. planteo y primeros resultados,” vol. 12, no. 5, pp. 49–55, 2008.
- [39] J. Hernandez Mora, C. Trujillo Rodriguez, and W. Vallejo Lozada, “Modelamiento de la irradiancia y la temperatura ambiente utilizando funciones de probabilidad,” *Rev. Tecnura*, vol. 18, no. 39, pp. 128–137, 2014.
- [40] O. R. AmayaG, M. a. Coos U, L. R. Duran M., and F. M. González-Longatt, “Modelado del Viento para Simulaciones Computarizadas de Sistemas de Potencia,” p. 47, 2007.

## Matriz de estado del arte

DESPACHO ECONÓMICO DE UNA MICRORED MEDIANTE ÁRBOLES DE DECISIÓN PARA UNA ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA.																												
	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA									
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	RESPUESTA A LA DEMANDA	DESPACHO ECONOMICO	MICRO-REDES	ENERGIAS RENOVABLES	ARBOLES DE DECISION	CAPACIDAD DE GENERACION	GESTION DE CONSUMO	DATOS HISTORICOS METEOROLOGICAS	MINIMIZAR COSTO DE ELÉCTRICIDAD	ASIGNACION DE COSTOS POR UNIDAD DE GENERACION	RESPUESTA A LA DEMANDA	RECURSO ALEATORIO:VELOCIDAD DEL VIENTO	RECURSO ALEATORIO: RADIACION SOLAR	ALMACENAMIENTO DE ENERGIA	FACTOR TIEMPO	DESPACHO ECONOMICO	ARBOLES DE DECISION	IMPLEMENTACION DE MICRO REDES	MINIMIZA EL COSTE DE PRODUCCION DE CADA UNIDAD DE ENERGIA PRODUCIDA	ENCUENTRA EL OPTIMO RECURSO DE GENERACION DEL SISTEMA SEGUN CONDICIONES METEOROLOGICAS	EL ARBOL ESTOCASTICO PERMITE LA TOMA DE DECISIONES DE LA MEJOR COMBINACION DE RECURSOS DE ACUERDO AL COSTO	INCORPORACION DE TECNOLOGIAS EN HORAS ESTRATEGICAS	MINIMIZA PERDIDAS DEL SISTEMA ELECTRICO PARA SUPLENIR LA DEMANDA	USO INTELIGENTE DE LA ENERGIA GENERADA	ESTABILIDAD AL SISTEMA	
1	2018	Microgrids energy management systems: A critical review on methods, solutions, and prospects	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	2016	Techno-economic easibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	2014	Technical and economic effects of charge controller operation and coulombic efficiency on stand-alone hybrid power systems	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	2018	A review of generation dispatch with large-scale photovoltaic systems	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	2017	Technical and economic analysis of hybrid solar/wind energy source for the site of Tlemcen-Algeria	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	2015	Incorporating Wind Power Forecast Uncertainties into Stochastic Unit Commitment Using Neural Network-Based Prediction Intervals	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	2012	Residential demand response behavior analysis based on Monte Carlo simulation: The case of Yinchuan in China	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	2017	Economic dispatch with demand response in smart grid: Bargaining model and solutions	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

9	2012	Microgrid economic operation and research on dispatch strategy," in Proceedings - Power Engineering and Automation Conference	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	2018	A machine learning based optimized energy dispatching scheme for restoring a hybrid microgrid	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	2017	Sizing and optimization of a fully autonomous hybrid PV-wind power system," in Proceedings of 2016 International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	2015	A real-time balancing market clearing model for grid-connected micro-grid including energy storage system," in Proceedings - 2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	2016	Bidding strategy for microgrid in day-ahead market based on hybrid stochastic/robust optimization	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	2018	Review on Home Energy Management System Considering Demand Responses, Smart Technologies, and Intelligent Controllers	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	2018	Optimal participation of low voltage renewable micro-grids in energy and spinning reserve markets under price uncertainties	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	2014	Two-stage stochastic unit commitment model including non-generation resources with conditional value-at-risk constraints	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	2015	An Economic Dispatch Model Based on Scenario Tree in Industrial Micro-grid with Wind Power	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	2016	A bi-level stochastic scheduling optimization model for a virtual power plant connected to a wind-photovoltaic-energy storage system considering the uncertainty and demand response	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	2018	Combining local preferences with multi-criteria decision analysis and linear optimization to develop feasible energy concepts in small communities	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	2014	A. Mohammadi, "Stochastic scenario-based model and investigating size of battery energy storage and thermal energy storage for micro-grid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	2016	Economic dispatch for a microgrid considering renewable energy cost functions	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	2017	Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind generation together with energy storage system in a stand-alone micro-grid subjected to demand response	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	2018	Forecasting Energy Consumption with the Data Reliability Estimation in the Management of Hybrid Energy System Using Fuzzy Decision Trees	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	2016	Solar-wind hybrid renewable energy system: A review," Renew. Sustain. Energy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	2017	Review of hybrid renewable energy systems with comparative analysis of off-grid hybrid system	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

26	2016	Techno-economic-environmental study of hybrid power supply system: A case study in Iran	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	2018	Cost comparisons for wind and thermal power generation	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	2017	Techno-economic analysis of hybrid system for rural electrification in Cambodia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	2016	Economic sizing of a hybrid (PV-WT-FC) renewable energy system (HRES) for stand-alone usages by an optimization-simulation model: Case study of Iran	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	2018	Influence of actual component characteristics on the optimal energy mix of a photovoltaic-wind-diesel hybrid system for a remote off-grid application	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	2015	Economic evaluation of hybrid energy systems for rural electrification in six geo-political zones of Nigeria	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32	2003	Economic dispatch using fuzzy decision trees	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
33	2015	An economic dispatch model in an industrial microgrid with wind power based on robust optimization	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34	2015	Regional Voltage Stability Prediction Based on Decision Tree Algorithm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35	2015	Energy price classification in North Brazilian market using decision tree	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36	2013	Implementation of Classification and Regression Tree(CART) and Fuzzy Logic Algorithm for Intrusion Detection System	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37	2017	Application of CART decision tree combined with PCA algorithm in intrusion detection	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38	2017	33.An Economic Dispatch Model Based on Scenario Tree in Industrial Micro-grid with Wind Power	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
39	2008	Modelo para estimar irradiancia e irradiación solar para día claro utilizando como parámetro variable la altura sobre el nivel del mar. planteo y primeros resultados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40	2017	Modelado del Viento para Simulaciones Computarizadas de Sistemas de Potencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			11	15	32	35	9	27	25	7	16	13	8	12	15	20	13	21	11	22	21	9	9	10	11	19	30

